

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
"ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ"**

**ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ
ПО КУРСУ ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН
ДЛЯ СТУДЕНТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
ТЕМА: АНАЛИЗ ПЛОСКИХ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

УТВЕРЖДЕНО
редакционно-издательским
советом университета
Протокол №1
от 07.06.2013 г.

Харьков НТУ «ХПИ» 2014

Теория механизмов и машин. Методические указания к выполнению и оформлению расчетно-графических заданий по курсу теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей. Тема: Анализ плоских рычажных механизмов / сост. Г. А. Кротенко, Е. И. Зинченко – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – 28 с.

Составители: Г. А. Кротенко
Е. И. Зинченко

Рецензент В. В. Офий

Кафедра теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин

ВСТУПЛЕНИЕ

Теория механизмов и машин (ТММ) – наука об общих методах исследования и построения оптимальных схем механизмов, машин и агрегатных узлов. Изучение курса предполагает усвоение методов проектирования, выработку навыков и умений по их применению на примерах выполнения реальных заданий. В курс ТММ включен раздел исследования плоских рычажных механизмов. Для этого предусмотрено выполнение лабораторных работ, решение задач на практических занятиях, выполнение индивидуального для каждого студента расчетно-графического задания (РГЗ).

При выполнении РГЗ настоящие методические указания позволяют студентам на основе общих методов структурного, кинематического и динамического анализов решить задачу исследования плоского рычажного механизма. Для решения данной задачи необходимо установить взаимосвязи между внешними силами, действующими в рычажном механизме, массами звеньев и параметрами кинематики их движения, определить нагрузки на кинематические пары и звенья механизма, рассчитать приведенный момент инерции и приведенный момент сил сопротивления на входе его начального звена.

В методических указаниях изложены общие указания по выполнению и оформлению РГЗ, предложен пример решения задачи и приведены варианты заданий.

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Анализ механизмов и машин включает исследование их структуры, кинематики и динамики. При синтезе решаются задачи построения механизмов и машин по заданным кинематическим и динамическим свойствам.

При изучении курса студенты выполняют расчетно-графическое задание

(РГЗ), которое состоит из трех задач исследования плоского рычажного механизма. Эти задачи соответствуют определенному номеру задания на РГЗ и определенному варианту. Номер задания и номер варианта каждому студенту задает преподаватель.

В графическую часть РГЗ включают все построения, выполненные в масштабе, на листе формата А3, а в пояснительную записку – расчеты и пояснения, связанные с выполнением РГЗ. Расчетно-пояснительная записка оформляется на одной стороне листа писчей бумаги формата А4 (197×210 мм) чернилами (пастой). Расстояние между строками должно быть 8–12 мм. Страницы пояснительной записки должны иметь поля: левое (для сшивания) не менее 30 мм, правое не менее 10 мм, верхнее – 15 мм, нижнее – 20 мм. Все страницы нумеруются. Нумерация сквозная. Номер страницы ставится в правом верхнем углу листа. Уравнения и формулы записываются в общем виде, затем в них подставляются значения и приводится конечный результат. Единицы размерностей величин указываются только с конечным результатом.

Все расчеты должны быть выполнены с использованием международной системы единиц СИ.

Оценка за модуль выставляется по результатам защиты РГЗ. К экзамену по курсу ТММ в IV семестре допускаются студенты, выполнившие и сдавшие лабораторные, контрольные работы и РГЗ.

Список литературы

Основная

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин : учебник для втузов – М: Наука, 1988 – 640 с.
2. Теория механизмов и машин : учебник для втузов / К.В.Фролов, С. А. Попов и др. / под ред. К. В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1987 – 496 с.
3. Коренько А. С. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / А. С. Коренько, Л. И. Кременштейн, С. Д. Петровский и др. – К.: Вища шк., 1970 – 332 с.
4. Попов С. А. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин / С. А. Попов – М.: Высш. шк., 1986.
5. Методические указания к самостоятельной работе по проектированию и исследованию шарнирно-рычажных механизмов по дисциплине "Теория механизмов и машин" для студентов машиностроительных специальностей дневного и вечернего обучения / А. А. Грунауэр, И. Д. Долгих. – Харьков: ХПИ, 1992. – 145 с.

6. Теория механизмов и машин / Системный подход : учеб. пособие / А. А. Грунауэр, И. Д. Долгих. – К.:УМК ВО, 1992. – 384 с.

Дополнительная

7. Кожевников С. Н. Теория механизмов и машин / С. Н. Кожевников – М.: Машиностроение, 1973 – 592 с.

8. Юдин В. А. Сборник задач по теории механизмов и машин / В. А. Юдин, Г. А. Барсов, Ю. Н. Чупин – М.: Высш. шк., 1982.

9. Артоболевский И. И. Сборник задач по теории механизмов и машин / И. И. Артоболевский, Б. В. Эдельштейн – М.: Наука, 1975.

10. Теория механизмов и машин. Методические указания к выполнению раздела курсового проекта «Кинематическое исследование плоских рычажных механизмов графоаналитическим методом» для студентов машиностроительных специальностей / сост. Н. А. Ткачук, В. Б. Зеленский, Е. И. Зинченко и др. – Х.: НТУ «ХПИ», 2007. – 24 с.

11. Теория механизмов и машин. Методические указания к выполнению силового расчета плоских рычажных механизмов для студентов машиностроительных специальностей / сост. Н. А. Ткачук, В. Б. Зеленский, Г. А. Кротенко и др. – Х.: НТУ «ХПИ», 2004. – 20 с.

12. Теория механизмов и машин. Методические указания к выполнению раздела курсового проекта «Исследование движения машинного агрегата» для студентов машиностроительных специальностей всех форм обучения / сост. Н. А. Ткачук, Г. А. Кротенко, Е. И. Зинченко – Х.: НТУ «ХПИ», 2009. – 32 с.

13. Зінченко О. І. Короткий довідник з курсу “Теорія механізмів і машин” для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / уклад. О. І. Зінченко, Г. А. Кротенко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – 44 с.

2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

2.1. Задача 1. Структурный и кинематический анализ рычажного механизма

2.1.1. Строение механизмов

При изучении строения механизмов следует обратить внимание на следующие понятия: звено механизма, кинематические пары и кинематические соединения; классификации кинематических пар; кинематическая цепь; основные виды механизмов, их особенности; число степеней подвижности; обобщенные координаты механизма; начальные (входные) звенья; общие связи кинематической цепи; структурная формула для кинематических цепей, имеющая три общие связи – формула П. Л. Чебышева; строение плоских рычажных механизмов;

структурные группы Ассура и их классификация; структурная и кинематическая схемы механизма; образование рычажных механизмов методом наложения структурных групп Ассура.

Следует обратить внимание на то, что класс кинематической пары механизма устанавливается из рассмотрения относительного движения звеньев, образующих кинематическую пару. Важно понимать различие между числом степеней подвижности (числом независимых движений) и числом наблюдаемых движений звеньев механизма. Необходимо знать с какой целью вводятся в рассмотрение группы Ассура.

Порядок решения задачи

1. Структурный анализ механизма.

По заданной кинематической схеме определить:

– число подвижных звеньев;

– класс кинематических пар и число кинематических пар p_i каждого класса i .

2. По формуле Чебышева определить число степеней подвижности механизма.

3. Построить структурную схему механизма и выделить группы Ассура.

4. Указать для каждой группы Ассура ее класс, порядок и номер группы в порядке образования механизма.

2.1.2. Кинематический анализ рычажного механизма графоаналитическим методом

При изучении вопросов кинематического анализа следует обратить внимание на следующее: цель и задачи анализа, последовательность и методы ее решения, особенности графоаналитического метода, построение планов положений механизма, принцип составления систем векторных уравнений для определения скоростей и ускорений групп Ассура, построение планов скоростей и ускорений, теорема о подобии фигур плана скоростей (ускорений) и схемы звена.

На примере простых четырехзвенных и более сложных шестизвенных механизмов следует изучить решение задачи кинематического анализа графоаналитическим методом. При построении планов положений механизма (кинематических схем) обратить внимание на заданный угол поворота кривошипа φ_1 . Положительный угол задается против часовой стрелки. Планы скоростей и ускорений необходимо строить по предварительно записанным векторным уравнениям для каждой группы Ассура, планы являются их графическим решением, причем сначала строится план скоростей (ускорений) для первой группы Ассура в порядке образования механизма, затем с тем же полюсом – планы для второй группы Ассура, если она содержится в механизме.

Порядок решения задачи

1. Начертить на листе формата А3 кинематическую схему рычажного механизма при заданном положении кривошипа (φ_1) в выбранном масштабе μ_l , м/мм. $\mu_l = l_{OA} / |OA|$, где $|OA|$ – длина отрезка, изображающего кривошип на плане положений.

2. Построить план скоростей механизма при заданной его конфигурации в масштабе μ_v , м/(с · мм).

3. Определить угловые скорости ω_i ($i = 2, 3 \dots$) звеньев и указать направление этих угловых скоростей на кинематической схеме.

4. Построить план ускорений механизма для заданной его конфигурации в масштабе μ_a , м/(с² · мм).

5. Определить угловые ускорения звеньев и показать их направления на кинематической схеме.

При выборе масштаба длин, как и всех используемых в задании масштабов, необходимо руководствоваться следующим: дробные масштабы должны содержать одну значащую цифру, например $\mu_l = 0,001$ м/мм; $\mu_v = 0,05$ м/(с · мм); $\mu_a = 0,01$ м/(с² · мм).

6. Результаты расчетов (скорости и ускорения всех шарнирных точек, а также центров масс звеньев, угловые скорости и угловые ускорения звеньев) привести в пояснительной записке.

Контрольные вопросы по разделу

1. Кинематические пары. Классификация кинематических пар.
2. Кинематическая цепь. Число степеней подвижности кинематической цепи. Структурная формула Чебышева.
3. Структура плоских рычажных механизмов. Группы Ассура и их классификация.
4. Задачи кинематического анализа.
5. Методы кинематического анализа.
6. Последовательность кинетического анализа плоского рычажного механизма с двухзвенными группами Ассура.
7. Построение плана скоростей и ускорений плоского рычажного механизма с двухзвенными группами Ассура.
8. Определение угловых скоростей и ускорений звеньев механизма.

2.2. Задача 2. Силовой расчет механизма без учета сил трения

При силовом анализе механизмов следует обратить внимание на следующие понятия: силы, действующие на звенья механизма; задача силового анализа (силового расчета) механизма; метод кинетостатики силового расчета; система сил инерции звена, совершающего плоские движения; статическая определимость групп Ассура; последовательность силового расчета плоского рычажного механизма с двухзвенными группами Ассура; силовой расчет структурных групп Ассура; силовой расчет начального (входного) звена; определение уравновешивающего момента или уравновешивающей силы на основе общего уравновешивания динамики; теорема Н. Е. Жуковского.

Выполняя силовой расчет механизмов, следует рассмотреть виды сил, которые действуют на звенья механизма, и деление сил по их влиянию на движение, на силы движущие и силы сопротивления. Используя известный из теоретической механики принцип Д'Аламбера, ввести в систему сил условные силы инерции. Эти силы нужно уметь находить для всех случаев плоского движения звена.

Вначале следует рассмотреть силовой расчет плоского рычажного механизма без учета сил трения. Реакции в группах Ассура необходимо определить последовательно, рассматривая группы, начиная с последней в порядке образования механизма, а затем произвести силовой расчет начального (входного) звена.

Необходимо помнить, что уравновешивающий момент или уравновешивающую силу можно найти как из силового расчета, используя условия равновесия, так и непосредственно применяя общее уравнение динамики. В соответствии с этим уравнением мощность уравновешивающей силы или уравновешивающего момента равна со знаком минус сумме мощностей сил и моментов сил, учитываемых при силовом расчете групп Ассура. Это условие отражено теоремой Н. Е. Жуковского. Указанный второй способ определения уравновешивающей силы или уравновешивающего момента служит для проверки правильности силового расчета.

Порядок решения задачи

1. Произвести силовой расчет групп Ассура и силовой расчет начального звена, полагая, что начальное звено I связано с валом двигателя посредством муфты. Для этого на чертеже изобразить схемы нагружения звеньев групп Ассура. Схема группы изображается в масштабе кинематической схемы, в заданном положении.

При силовом расчете учесть силу производственного сопротивления $P_{\text{ПС}}$, силы тяжести, силы и моменты сил инерции тех звеньев, массы которых заданы. Считать, что центр масс ползуна, который образует шарнирное соединение с од-

ним из звеньев механизма, совпадает с центром шарнира. Для звеньев, которые образуют не менее двух шарниров с другими звеньями и где обозначена точка s_i – центр масс звена i – считать, что эта точка делит соответствующий отрезок между двумя шарнирами пополам.

2. Силами, значения которых составляют менее 2 % от наибольшей, при расчете пренебречь. Все силы, учитываемые в силовом расчете, а также моменты сил, показать на кинематической схеме, которая использовалась в задании 1. Планы сил построить в масштабе μ_p , Н/мм, на том же листе.

3. Проверить правильность определения уравновешивающего момента ($M_{ур}$), найденного из силового расчета начального звена. С этой целью определить также уравновешивающий момент ($M_{ур}^*$), пользуясь общим уравнением динамики, в соответствии с которым мощность уравновешивающего момента $M_{ур}^*$ равна со знаком минус сумме мощностей сил и моментов, учитываемых в силовом расчете групп Ассура (реакции в кинематических парах в выражении для указанной суммы не входят).

Силовой расчет считается правильным, если погрешность

$$\Delta = \left| \frac{M_{ур}^* - M_{ур}}{M_{ур}^*} \right| \cdot 100 \leq 10.$$

Контрольные вопросы по разделу

1. Силы, действующие на звенья в механизмах.
2. Система сил инерции звена, совершающего плоское движение.
3. Метод кинетостатики силового расчета механизмов.
4. Статическая определимость группы Ассура. Порядок рассмотрения структурных групп при силовом расчете.
5. Силовой расчет начального (выходного) звена.

2.3. Задача 3. Динамическое исследование механизма

При выполнении динамического исследования следует обратить внимание на следующие понятия: машинный агрегат, динамическая модель машинного агрегата, уравнение движения машинного агрегата, звено привода, приведенный момент инерции, приведенный момент сил.

Выполняя динамическое исследование механизма, необходимо использовать уравнение движения в форме теоремы об изменении кинетической энергии. В качестве звена привода принять начальное звено механизма (кривошип). При расчете приведенного момента инерции используется условие приведения

масс — равенство кинетической энергии звена приведения сумме кинетической энергии всех звеньев механизма:

$$I^{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n \left[m_i \left(\frac{V_{S_i}}{\omega_1} \right)^2 + I_{S_i} \left(\frac{\omega_i}{\omega_1} \right)^2 \right],$$

где m_i , I_{S_i} — масса и момент инерции относительно центра масс S_i звена i ; V_{S_i} , ω_i — скорость центра масс и угловая скорость звена i .

Приведенный момент инерции — величина всегда положительная.

Для рычажного механизма рассчитывается приведенный момент сил сопротивления $M^{\text{пр}}$. При расчете учитывается условие приведения внешних сил: мощность приведенного момента сил равно сумме мощностей активных внешних сил, действующих на звенья механизма. Вычисление $M^{\text{пр}}$ выполняется по формуле:

$$M^{\text{пр}} = P_{\text{пс}i} \frac{V_{P_{\text{пс}i}}}{\omega_1} \cos \beta_i + G_i \frac{V_{S_i}}{\omega_1} \cos \alpha_i,$$

где i — номер звена механизма; V_{S_i} — скорость центра масс i -го звена; $V_{P_{\text{пс}i}}$ — скорость центра масс звена, к которому приложена сила $P_{\text{пс}}$; G_i — сила тяжести i -того звена; α_i — угол между вектором \vec{V}_{S_i} и вектором \vec{G}_i ; β_i — угол между вектором $\vec{V}_{P_{\text{пс}i}}$ и вектором $P_{\text{пс}i}$ (180° или 0°)

Порядок решения задачи

1. Используя кинематический анализ (план скоростей), рассчитать приведенный момент инерции для заданного положения механизма.

2. Используя исходные данные, характеристики при решении задачи 1 и задачи 2, рассчитать приведенный момент сил сопротивления для заданного положения механизма.

Контрольные вопросы по разделу

1. Машинный агрегат. Динамическая модель машинного агрегата.
2. Звено приведения.
3. Приведенный момент сил. Условие приведения сил к звену приведения.
4. Приведенный момент инерции. Условие приведения масс к звену приведения.

Ниже приведен пример расчета и оформления варианта расчетно-графического задания.

3. Пример решения и оформления задачи расчетно-графического задания

ЗАДАНИЕ _____
(№ задания)

Студент _____
(фамилия, инициалы)

группа _____
(№ группы)

1. Выполнить структурный анализ механизма.
2. Для заданного положения механизма ($\varphi_1 = 135^\circ$) построить планы скоростей и ускорений.
3. Для заданного положения произвести силовой расчет механизма.
4. Рассчитать приведенный момент инерции $I^{\text{пр}}$ и приведенный момент сил сопротивления $M^{\text{пр}}$

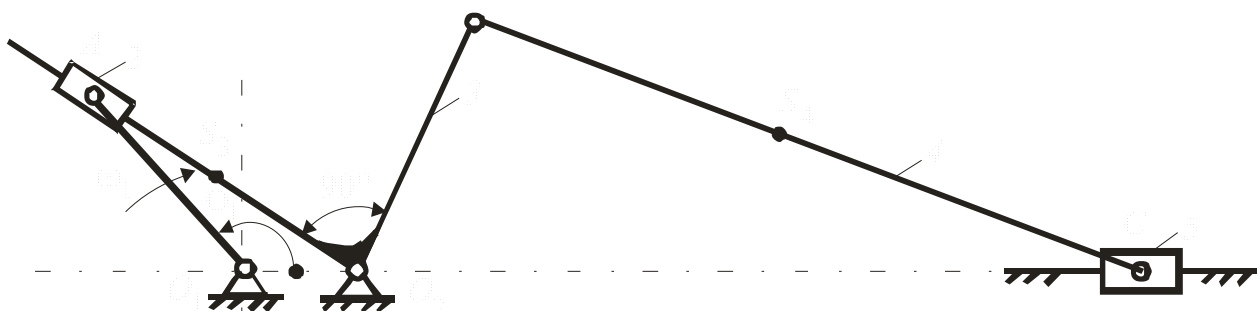


Рисунок 1

$$l_{O_1A} = 0,06 \text{ м};$$

$$l_{O_1O_2} = 0,03 \text{ м};$$

$$l_{O_2B} = 0,07 \text{ м};$$

$$l_{BC} = 0,2 \text{ м};$$

$$l_{O_2S_3} = 0,04 \text{ м};$$

$$l_{BS_4} = 0,1 \text{ м};$$

$$n_1 = 90 \text{ об/м};$$

$$P_{\text{ин}} = 600 \text{ Н}.$$

$$m_2 = 1,2 \text{ кг};$$

$$m_3 = 5,7 \text{ кг};$$

$$m_4 = 6 \text{ кг};$$

$$m_5 = 36 \text{ кг};$$

$$I_{S_2} = 0,0001 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_{S_3} = 0,017 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_{S_4} = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Задача 1. Структурный и кинематический анализ

1.1. Структурный анализ механизма

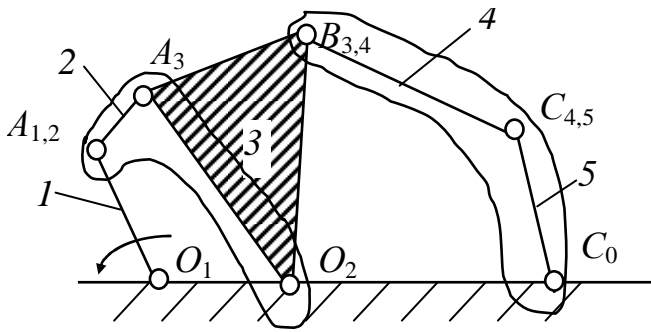


Рисунок 2 – Структурная схема механизма

Число подвижных звеньев механизма $n = 5$. Кинематические пары V класса $p_5 = 7$, $p_4 = 0$. По формуле Чебышева степень подвижности механизма

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1.$$

Структурная схема механизма имеет вид см. рис. 2.

Выделим структурные группы. В порядке присоединения к ведущему звену 1 это будут: 1) звенья 2 – 3 – 1-я; 2) звенья 4 – 5 — 2-я группы 2 класса и 2 порядка.

2.1. Кинематическое исследование механизма

2.1.1. Построение кинематической схемы механизма.

Для построения кинематической схемы механизма при заданном положении кривошипа ($\varphi_1 = 135^\circ$) принимаем масштаб длин $\mu_l = 0,002$ м/мм. Вычисляем длины отрезков, изображающих звенья на чертеже:

$$\begin{aligned} (O_1A) &= \frac{l_{O_1A}}{\mu_l} = \frac{0,06}{0,002} = 30 \text{ мм}; & (O_2B) &= \frac{l_{O_2B}}{\mu_l} = \frac{0,07}{0,002} = 35 \text{ мм}; \\ (O_1O_2) &= \frac{l_{O_1O_2}}{\mu_l} = \frac{0,03}{0,002} = 15 \text{ мм}; & (BC) &= \frac{l_{BC}}{\mu_l} = \frac{0,2}{0,002} = 100 \text{ мм}. \end{aligned}$$

2.1.2. Определение скоростей точек и угловых скоростей звеньев механизма.

Рассмотрим группу Ассура 2–3. Для построения планов скоростей запишем векторные уравнения определения скорости точки A_3 .

$$\begin{cases} \vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{A_2} + \vec{V}_{3-2}, \\ \vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{O_2} + \vec{V}_{A_3O_2}, \end{cases} \quad (1)$$

где $V_{O_2} = 0$ и $V_{A_2} = V_{A_1} = \omega_1 l_{O_1A} = \frac{\pi n_1}{30} l_{AO_1} = \frac{\pi \cdot 90}{30} \cdot 0,06 = 0,56$ м/с.

Строим план скоростей для этой группы, графически решая систему (1). Принимаем масштаб плана скоростей $\mu_v = 0,01$ м/с · мм. В результате получаем $V_{A_3} = (pa_3) \cdot \mu_v = 54 \cdot 0,01 = 0,54$ м/с.

Определяем скорость точки B , построив на плане скоростей треугольник

a_3pb подобный треугольнику AO_2B ; при этом $(pb) = (pa_3) \cdot \frac{O_2B}{O_2A} = 54 \cdot \frac{35}{42} = 45 \text{ мм}$,

$$V_B = (pb) \cdot \mu_v = 45 \cdot 0,01 = 0,45 \text{ м/с}.$$

Рассмотрим группу Ассура 4–5 и запишем векторные уравнения для определения скорости точки $C_{4,5}$.

$$\begin{cases} \vec{V}_{C_{4,5}} = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB}, \\ \vec{V}_{C_{4,5}} = \vec{V}_{C_0} + \vec{V}_{5-0}. \end{cases} \quad (2)$$

Решаем систему (2), достраивая план скоростей. В результате получаем:

$$V_{C_{4,5}} = (pc_{4,5}) \cdot \mu_v = 46 \cdot 0,01 = 0,46 \text{ м/с};$$

$$\omega_2 = \omega_3 = \frac{V_{A_3O_2}}{l_{A_3O_2}} = \frac{V_{A_3}}{(AO_2) \cdot \mu_l} = \frac{0,54}{42 \cdot 0,002} = 6,43 \text{ 1/с};$$

$$\omega_4 = \frac{V_{CB}}{l_{CB}} = \frac{(bc_{4,5}) \cdot \mu_v}{l_{CB}} = \frac{24 \cdot 0,01}{0,2} = 1,2 \text{ 1/с}.$$

Направления угловых скоростей звеньев показаны на кинематической схеме механизма.

Используя свойство подобия, показываем на плане скоростей точки s_3 и s_4

$$V_{s_3} = (ps_3) \cdot \mu_v = 25,5 \cdot 0,01 = 2,55 \text{ м/с}; V_{s_4} = (ps_4) \cdot \mu_v = 44 \cdot 0,01 = 4,4 \text{ м/с}.$$

2.1.3. Определение ускорений точек и угловых ускорений звеньев механизма.

Рассмотрим группу Ассура 2 – 3 и запишем векторные уравнения для определения ускорения точки A_3 .

$$\begin{cases} \vec{a}_{A_3} = \vec{a}_{A_2} + \vec{a}_{3-2}^{\text{кор}} + \vec{a}_{3-2}^{\text{отн}}, \\ \vec{a}_{A_3} = \vec{a}_{O_2} + \vec{a}_{A_3O_2}^n + \vec{a}_{A_3O_2}^{\tau}, \end{cases} \quad (3)$$

где $a_{O_2} = 0$ и $a_{A_2} = a_{A_1} = \omega_1^2 l_{O_1A} = 9,42^2 \cdot 0,06 = 5,32 \text{ м/с}^2$.

$$a_{A_3O_2}^n = \omega_2^2 l_{AO_2} = 6,43^2 \cdot 0,084 = 3,47 \text{ м/с}^2; \quad a_{3-2}^{\text{кор}} = 2V_{3-2}\omega_3 = 2 \cdot 0,15 \cdot 6,43 = 1,93 \text{ м/с}^2.$$

Строим план ускорений для этой группы, графически решая систему (3). Принимаем масштаб плана ускорений $\mu_a = 0,1 \text{ м/с}^2 \cdot \text{мм}$

В результате получаем $a_{A_3} = (\pi a_3) \cdot \mu_a = 35 \cdot 0,1 = 3,5 \text{ м/с}^2$. Точку b на плане ускорений строим исходя из свойств подобия.

Рассмотрим группу Ассура 4–5 и запишем векторные уравнения для оп-

ределения ускорения точки $C_{4,5}$.

$$\begin{cases} \vec{a}_{C_{4,5}} = \vec{a}_{C_0} + \vec{a}_{5-0}^{\text{кор}} + \vec{a}_{5-0}^{\text{отн}}, \\ \vec{a}_{C_{4,5}} = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^\tau. \end{cases} \quad (4)$$

где $a_{C_0} = 0$; $a_{CB}^n = \omega_4^2 \cdot l_{CB} = 1,2^2 \cdot 0,2 = 0,288 \text{ м/с}^2$; $a_{5-0}^{\text{кор}} = 0$.

Решаем систему (4), достраивая план ускорений. В результате получаем:

$$a_{C_{4,5}} = (\pi c_{4,5}) \cdot \mu_a = 5,5 \cdot 0,1 = 0,55 \text{ м/с}^2;$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \frac{a_{A_3O_2}^\tau}{l_{A_3O_2}} = \frac{(n_{AO_2} a_3) \cdot \mu_a}{(O_2A) \cdot \mu_l} = \frac{6,5 \cdot 0,1}{42 \cdot 0,002} = 7,74 \text{ с}^{-2};$$

$$\varepsilon_4 = \frac{a_{CB}^\tau}{l_{CB}} = \frac{(n_{CB} c_{4,5}) \cdot \mu_a}{l_{CB}} = \frac{28 \cdot 0,1}{0,2} = 14 \text{ с}^{-2}.$$

Направление угловых ускорений звеньев показано на кинематической схеме механизма.

Используя свойство подобия, показываем на плане ускорений точки s_3 и s_4 :

$$a_{s_3} = (\pi s_3) \cdot \mu_a = 12 \cdot 0,1 = 1,2 \text{ м/с}^2; \quad a_{s_4} = (\pi s_4) \cdot \mu_a = 16 \cdot 0,1 = 1,6 \text{ м/с}^2.$$

Планы скоростей и ускорений приведены в прил. В.

Задача 2. Силовой расчет механизма без учета сил трения

2.1. Определение силы веса, модуль сил инерции и моментов пар сил инерции

Определим силы веса, модуль сил инерции и моментов пар сил инерции звеньев механизма:

– силы тяжести:

$$G_2 = m_2 \cdot g = 1,2 \cdot 9,81 = 11,77 \text{ Н}; \quad G_3 = m_3 \cdot g = 5,7 \cdot 9,81 = 55,92 \text{ Н};$$

$$G_4 = m_4 \cdot g = 6 \cdot 9,81 = 58,86 \text{ Н}; \quad G_5 = m_5 \cdot g = 36 \cdot 9,81 = 353,16 \text{ Н},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

– силы инерции:

$$P_{и2} = m_2 \cdot a_{A_2} = 1,2 \cdot 5,32 = 6,38 \text{ Н}; \quad P_{и3} = m_3 \cdot a_{s_3} = 5,7 \cdot 1,2 = 6,84 \text{ Н};$$

$$P_{и4} = m_4 \cdot a_{s_4} = 6 \cdot 1,6 = 9,6 \text{ Н}; \quad P_{и5} = m_5 \cdot a_{C_{4,5}} = 36 \cdot 0,55 = 19,8 \text{ Н},$$

– моменты пар сил инерции:

$$M_{и2} = I_{s_2} \cdot \varepsilon_2 = 0,00017,74 = 7,74 \cdot 10^{-4} \text{ Нм};$$

$$M_{и3} = I_{s_3} \cdot \varepsilon_3 = 0,017 \cdot 7,74 = 0,13 \text{ Нм};$$

$$M_{и4} = I_{s4} \cdot \varepsilon_4 = 0,02 \cdot 14 = 0,28 \text{ Нм}.$$

Сила производственного сопротивления $P_{пс} = 600 \text{ Н}$ – задана.

Направления сил и моментов пар сил инерции показаны на чертеже.

Определим 2% от наибольшей силы: $0,02 \cdot 600 = 12 \text{ Н}$. Силами, которые меньше 12 Н пренебрегаем. Это силы: G_2 , $P_{и2}$, $P_{и3}$, $P_{и4}$.

2.2. Силовой расчет групп Ассура

Силовой расчет проводим по группам Ассура, начиная с группы 4–5. Показываем на чертеже все силы, приложенные к звеньям группы. Рассматривая равновесие сил, приложенных к звену 4, определяем реакцию R_{43}^r из условия $\sum m_c(F_i) = 0$.

$$R_{43}^r (CB) \cdot \mu_l + G_4 h_{G_4} \mu_l - M_{и4} = 0.$$

$$R_{43}^r = \frac{-G_4 h_{G_4} \mu_l + M_{и4}}{(CB) \cdot \mu_l} = \frac{-58,86 \cdot 48 \cdot 0,002 + 0,28}{100 \cdot 0,002} = -26,85 \text{ Н}.$$

Рассматривая равновесие сил, приложенных ко всей группе, определяем реакции R_{43}^n и R_{50} из условия $\sum \vec{F}_i = 0$

$$\vec{R}_{43}^n + \vec{R}_{43}^r + \vec{G}_4 + \vec{G}_5 + \vec{P}_{и5} + \vec{P}_{пс} + \vec{R}_{50} = 0. \quad (5)$$

Эти реакции определяются при решении векторного уравнения (5) путем построения плана сил. План сил строим в масштабе $\mu_p = 6 \text{ Н/мм}$.

$$R_{43}^n = [R_{43}^n] \cdot \mu_p = 97 \cdot 6 = 582 \text{ Н}; \quad R_{50} = [R_{50}] \cdot \mu_p = 93 \cdot 6 = 585 \text{ Н};$$

$$R_{43} = [R_{43}] \cdot \mu_p = 97,5 \cdot 6 = 585 \text{ Н}.$$

Рассматривая равновесие сил, приложенных к звену 5, определяем внутреннюю реакцию $\vec{R}_{54} = -\vec{R}_{45}$ из условия $\sum \vec{F}_i = 0$.

$$\vec{R}_{54} + \vec{P}_{и5} + \vec{G}_5 + \vec{P}_{пс} + \vec{R}_{50} = 0.$$

Векторное уравнение решаем графически путем построения плана сил.

$$R_{54} = [R_{54}] \cdot \mu_p = 101 \cdot 6 = 606 \text{ Н}.$$

Показываем на чертеже все силы, приложенные к звеньям группы 2–3. Рассматривая равновесие сил, приложенных сначала к звену 2, а затем – к звену 3 определим R_{21}^r и R_{30}^n .

R_{21}^r определяем из условия $\sum F_{ir} = 0$: $R_{21}^r - G_2 \cos(\beta) + P_{и2} \cos(\alpha) = 0$, так как силами G_2 и $P_{и2}$ пренебрегаем, то получим $R_{21}^r = 0$.

R_{30}^n определяем из условия $\sum m_A(F_i) = 0$:

$$R_{30}^n(AO_2) \cdot \mu_l + R_{34} h_{R_{34}} \mu_l + M_{и3} + M_{и2} - G_3 h_{G_3} \mu_l = 0;$$

$$R_{30}^n = \frac{-R_{34} h_{R_{34}} \mu_l - M_{и3} - M_{и2} + G_3 h_{G_3} \mu_l}{(AO_2) \cdot \mu_l} =$$

$$= \frac{-585 \cdot 22 \cdot 0,002 - 0,13 - 0,00077 + 55,92 \cdot 18 \cdot 0,002}{42 \cdot 0,002} = -284 \text{ Н.}$$

Рассматривая равновесие сил, приложенных к звеньям группы, определяем R_{30}^r и R_{21}^n из условия $\sum \vec{F}_i = 0$:

$$\vec{R}_{21}^n + \vec{G}_3 + \vec{R}_{34} + \vec{R}_{30}^n + \vec{R}_{30}^r = 0. \quad (6)$$

Эти реакции определяют при решении векторного уравнения (6) путем построения плана сил. Масштаб $\mu_p = 6 \text{ Н/мм}$. Получаем:

$$R_{21}^n = [R_{21}^n] \cdot \mu_p = 84 \cdot 6 = 504 \text{ Н}; \quad R_{21} = R_{21}^n = 504 \text{ Н};$$

$$R_{30}^r = [R_{30}^r] \cdot \mu_p = 87,5 \cdot 6 = 525 \text{ Н}; \quad R_{30} = [R_{30}] \cdot \mu_p = 99 \cdot 6 = 594 \text{ Н.}$$

Рассматривая равновесие сил, приложенных к звену 2, определяем внутреннюю реакцию группы $\vec{R}_{23} = -\vec{R}_{32}$ из условия $\sum \vec{F}_i = 0$.

$$\vec{R}_{21}^n + \vec{R}_{23} = 0, \text{ откуда } \vec{R}_{23} = -\vec{R}_{21}; R_{23} = 504 \text{ Н.}$$

2.3. Силовой расчет начального (ведущего) звена

Силовой расчет начального (ведущего) звена 1.

Рассматриваем равновесие сил: приложенных к звену 1. Определяем реакцию в шарнире O_1 из условия: $\sum \vec{F}_i = 0$.

$$\vec{R}_{12} + \vec{R}_{10} = 0; \vec{R}_{10} = -\vec{R}_{12}; R_{10} = 504 \text{ Н.}$$

Определяем уравновешивающий момент из условия $\sum m_{O_1}(F_i) = 0$:

$$M_{yp} + R_{12} h_{R_{12}} \mu_l = 0;$$

$$M_{yp} = -R_{12} h_{R_{12}} \mu_l = -504 \cdot 29,5 \cdot 0,002 = -29,74 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Графическая часть силового расчета приведена в прил. В.

Определяем уравновешивающий момент M_{yp}^* другим способом из условия равенства нулю суммы мощностей всех активных сил и сил инерции:

$$M_{yp}^* = -\frac{1}{\omega_1} [G_3 V_{S_3} \cos(\hat{G_3 V_{S_3}}) - M_{и3} \omega_3 - M_{и2} \omega_2 - M_{и4} \omega_4 + G_4 V_{S_4} \cos(\hat{G_4 V_{S_4}}) +$$

$$+ G_5 V_{C_{4,5}} (\hat{G_5 V_{C_{4,5}}}) + P_{и5} V_{C_{4,5}} \cos(\hat{P_{и5} V_{C_{4,5}}}) + P_{пс} V_{C_{4,5}} \cos(\hat{P_{пс} V_{C_{4,5}}})] =$$

$$= -\frac{1}{9,42} [55,92 \cdot 2,55 \cos 149^\circ - 0,00077 \cdot 6,43 - 0,13 \cdot 6,43 - 0,28 \cdot 1,2 + \\ + 58,86 \cdot 4,4 \cos 69^\circ + 353,16 \cdot 0,46 \cos 90^\circ + \\ + 19,8 \cdot 0,46 \cos 0^\circ + 600 \cdot 0,46 \cos 180^\circ] = 31,68 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Погрешность силового расчета:

$$\Delta M_{\text{уп}} = \left| \frac{M_{\text{уп}} - M_{\text{уп}}}{M_{\text{уп}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{31,68 - 29,74}{31,68} \right| \cdot 100 = 6\%.$$

Задача 3. Динамическое исследование рычажного механизма для заданного положения

3.1. Определение приведенного момента инерции.

Приведенный момент инерции для заданного положения механизма рассчитывается из условия равенства кинетической энергии звена приведения (кривошип) сумме кинетической энергии, которой обладают звенья механизма.

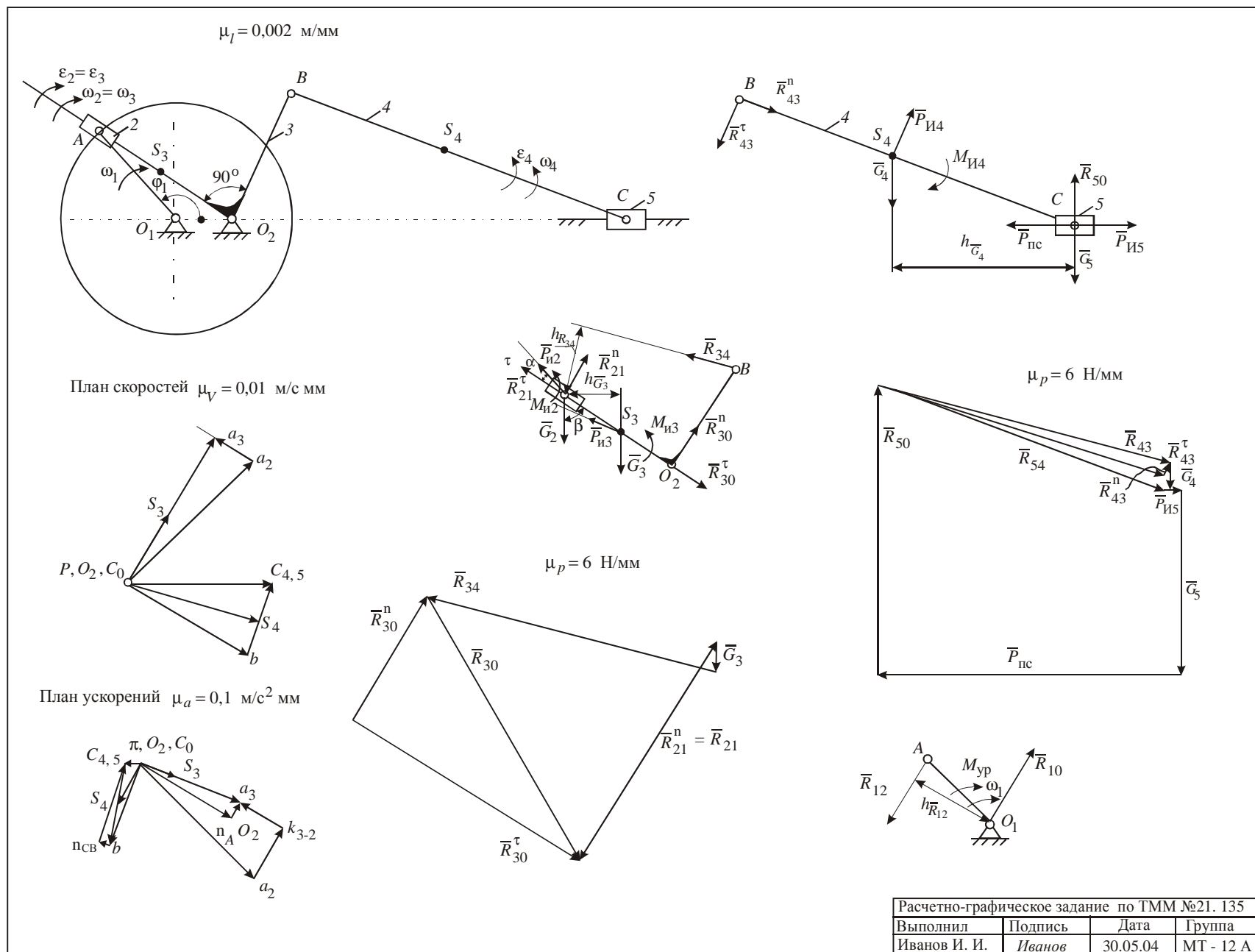
Расчет выполняется по формуле:

$$I^{\text{пр}} = \frac{1}{\omega_1^2} [m_2 \cdot V_{A_2}^2 + I_{S_2} \cdot \omega_2^2 + m_3 \cdot V_{S_3}^2 + I_{S_3} \cdot \omega_3^2 + m_4 \cdot V_{S_4}^2 + I_{S_4} \cdot \omega_4^2 + m_5 \cdot V_{C_{4,5}}^2] = \\ = \frac{1}{9,42^2} [1,2 \cdot 0,56^2 + 0,0001 \cdot 6,43^2 + 5,7 \cdot 2,55^2 + 0,017 \cdot 6,43^2 + 6 \cdot 4,4^2 + \\ + 0,02 \cdot 1,2^2 + 36 \cdot 0,46^2] = 1,825 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

3.2. Определение приведенного момента сил сопротивления.

Приведенный момент сил сопротивления для заданного механизма рассчитывается из условия равенства мощности приведенного момента на звене приведения, сумме мощностей сил сопротивления (силы тяжести и сила полезного сопротивления), действующих на звенья механизма по формуле:

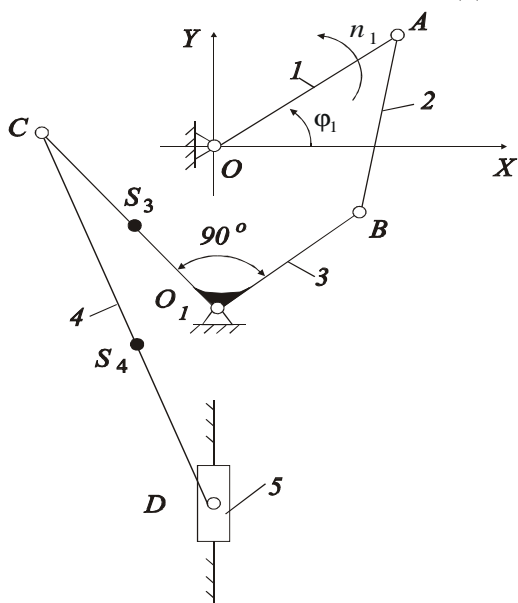
$$M^{\text{пр}} = \frac{1}{\omega_1} \left[G_2 \cdot V_{A_2} \cdot \cos G_2 \cdot \hat{V}_{A_2} + G_3 \cdot V_{S_3} \cdot \cos G_3 \cdot \hat{V}_{S_3} + G_4 \cdot V_{S_4} \cdot \cos G_4 \cdot \hat{V}_{S_4} + \right. \\ \left. + G_5 \cdot V_{S_5} \cdot \cos G_5 \cdot \hat{V}_{C_{4,5}} + P_{\text{nc}} \cdot V_{C_{4,5}} \cdot \cos P_{\text{nc}} \cdot \hat{V}_{C_{4,5}} \right] = \\ = \frac{1}{9,42} [11,77 \cdot 0,56 \cdot \cos 134^\circ + 55,92 \cdot 2,55 \cdot \cos 149^\circ + 58,86 \cdot 4,4 \cdot \cos 69^\circ + \\ + 353,16 \cdot 0,46 \cdot \cos 90^\circ + 600 \cdot 0,46 \cdot \cos 180^\circ] = -32,91 \text{ Н} \cdot \text{м}$$



Приложение Б

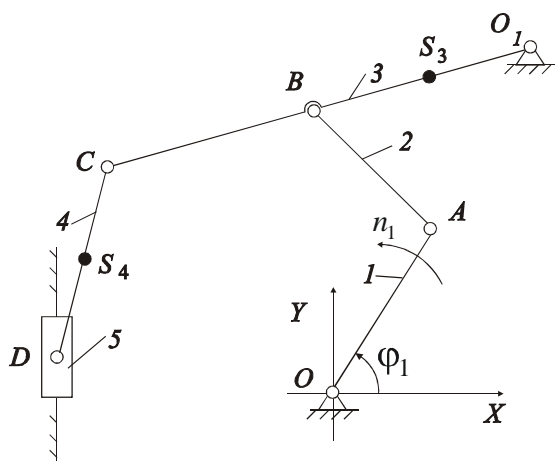
ЗАДАНИЯ

Задание № 1



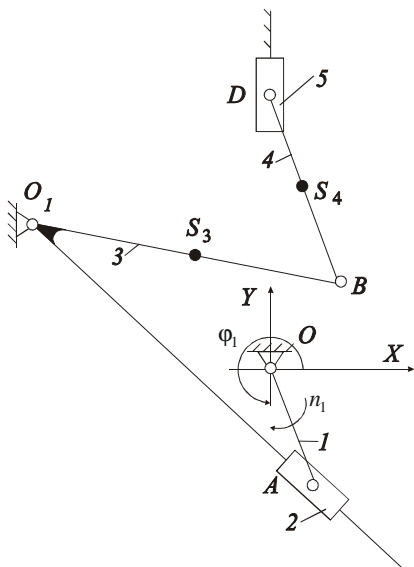
$n_1 = 80 \text{ об/мин}$	$m_3 = 12 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,15 \text{ м}$	$m_4 = 20 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,15 \text{ м}$	$m_5 = 18 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,09 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{O_1C} = 0,12 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,35 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 800 \text{ Н}$
$y_{O_1} = -0,045 \text{ м}$	

Задание № 2



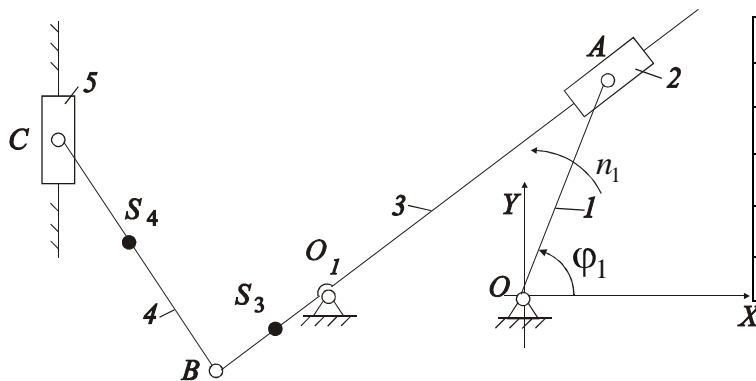
$n_1 = 60 \text{ об/мин}$	$x_D = -0,3 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,12 \text{ м}$	$m_3 = 18 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,32 \text{ м}$	$m_4 = 10 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,3 \text{ м}$	$m_5 = 20 \text{ кг}$
$l_{BC} = 0,18 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,18 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = 0,24 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 1200 \text{ Н}$
$y_{O_1} = 0,36 \text{ м}$	

Задание № 3



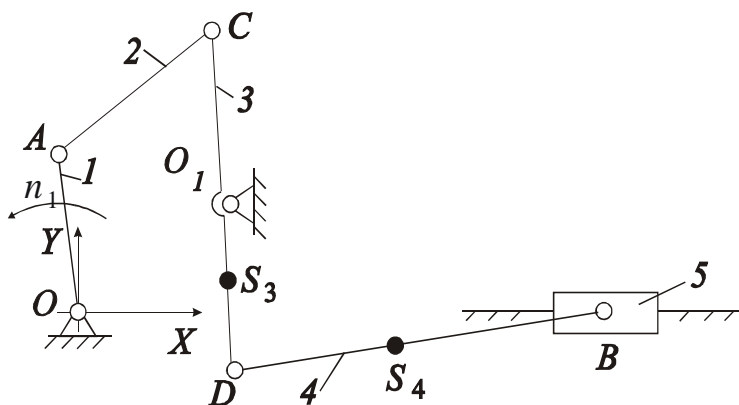
$n_1 = 82 \text{ об/мин}$	$m_3 = 5 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,08 \text{ м}$	$m_4 = 4 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,2 \text{ м}$	$m_5 = 8 \text{ кг}$
$l_{BE} = 0,16 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,01 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = -0,15 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$y_{O_1} = 0,025 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 850 \text{ Н}$
$\angle AO_1B = 45^\circ$	

Задание № 4



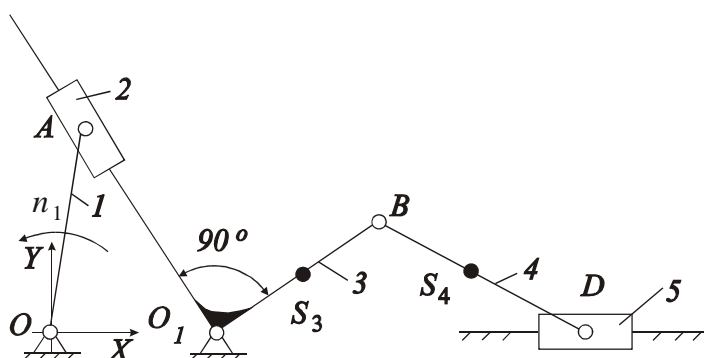
$n_1 = 80 \text{ об/мин}$	$m_3 = 16 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,15 \text{ м}$	$m_4 = 8 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,28 \text{ м}$	$m_5 = 22 \text{ кг}$
$l_{BC} = 0,2 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,032 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = -0,22 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_C = -0,45 \text{ м}$	$P_{\text{nc}} = 2000 \text{ Н}$

Задание № 5



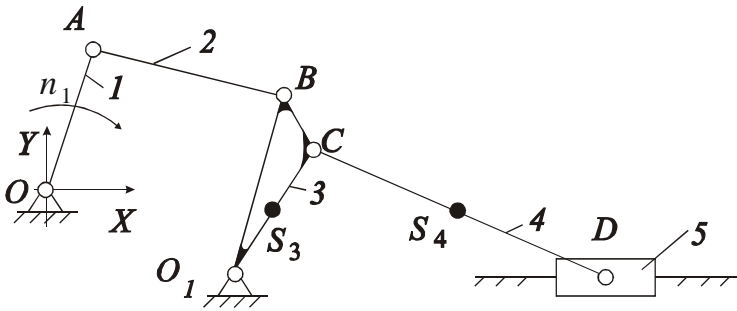
$n_1 = 64 \text{ об/мин}$	$m_3 = 7 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,09 \text{ м}$	$m_4 = 6 \text{ кг}$
$l_{AC} = 0,11 \text{ м}$	$m_5 = 12 \text{ кг}$
$l_{O_1C} = 0,2 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{O_1D} = 0,11 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,07 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{DB} = 0,24 \text{ м}$	$P_{\text{nc}} = 1800 \text{ Н}$
$x_{O_1} = 0,135 \text{ м}$	$y_{O_1} = 0,025 \text{ м}$

Задание № 6



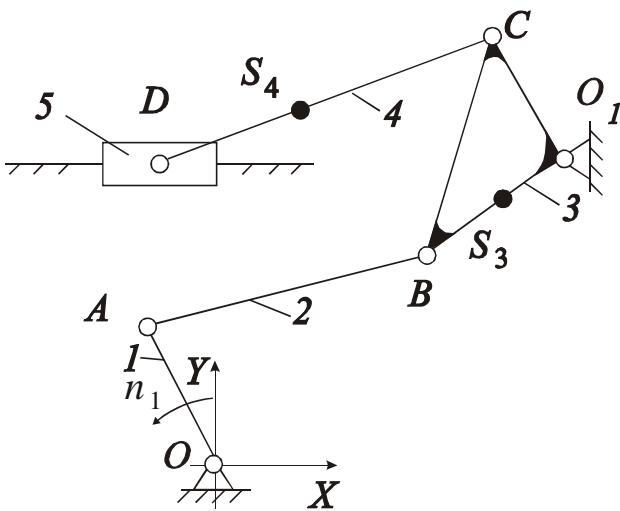
$n_1 = 72 \text{ об/мин}$	$m_3 = 12 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,08 \text{ м}$	$m_4 = 10 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,1 \text{ м}$	$m_5 = 15 \text{ кг}$
$l_{BD} = 0,3 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = 0,04 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,06 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$P_{\text{nc}} = 800 \text{ Н}$

Задание № 7



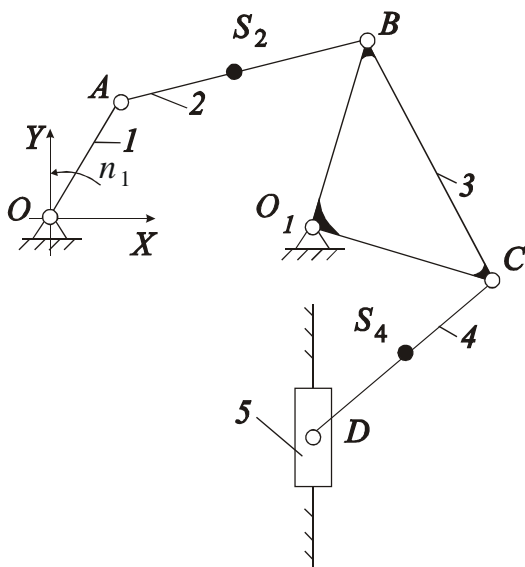
$n_1 = 72 \text{ об/мин}$	$y_D = -0,055 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,22 \text{ м}$	$y_{O_1} = -0,055 \text{ м}$
$l_{AB} = 0,22 \text{ м}$	$m_3 = 18 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,22 \text{ м}$	$m_4 = 25 \text{ кг}$
$l_{BC} = 0,045 \text{ м}$	$m_5 = 80 \text{ кг}$
$l_{O_1C} = 0,2 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,8 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = 0,24 \text{ м}$	$P_{\text{ис}} = 2400 \text{ Н}$

Задание № 8



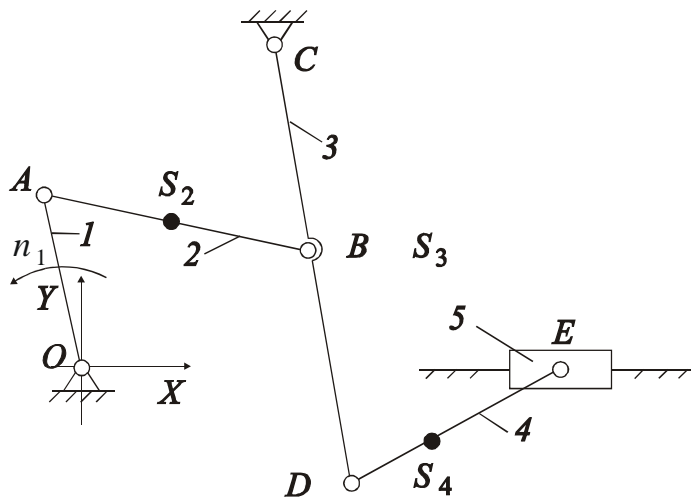
$n_1 = 80 \text{ об/мин}$	$y_{O_1} = y_D = 0,18 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,05 \text{ м}$	$m_2 = 4 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,2 \text{ м}$	$m_4 = 6 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,1 \text{ м}$	$m_5 = 12 \text{ кг}$
$l_{O_1C} = 0,1 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CB} = 0,18 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,17 \text{ м}$	$P_{\text{ис}} = 400 \text{ Н}$
$x_{O_1} = 0,16 \text{ м}$	

Задание № 9



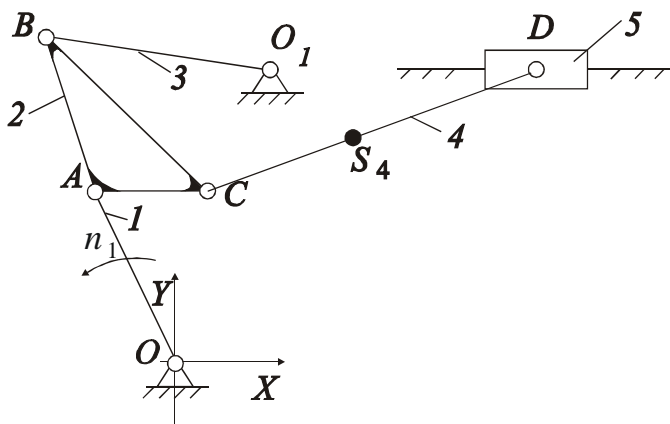
$n_1 = 60 \text{ об/мин}$	$x_{O_1} = x_D = 0,13 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,08 \text{ м}$	$m_2 = 6 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,14 \text{ м}$	$m_4 = 6 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,12 \text{ м}$	$m_5 = 12 \text{ кг}$
$l_{O_1C} = 0,12 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$\angle BO_1C = 90^\circ$	$I_{S_4} = 0,06 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,2 \text{ м}$	$P_{\text{ис}} = 1000 \text{ Н}$

Задание № 10



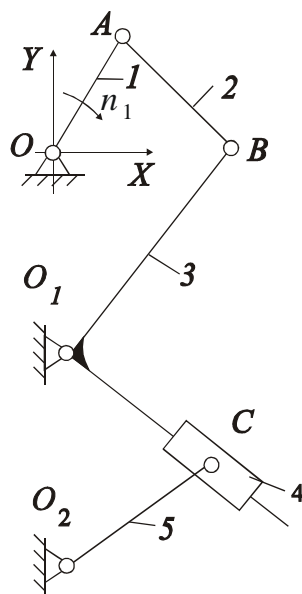
$n_1 = 80 \text{ об/мин}$	$m_2 = 18 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,1 \text{ м}$	$m_3 = 12 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,3 \text{ м}$	$m_4 = 12 \text{ кг}$
$l_{CB} = 0,15 \text{ м}$	$m_5 = 25 \text{ кг}$
$l_{BD} = 0,1 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{ED} = 0,5 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,17 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$y_C = 0,15 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,17 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_C = 0,2 \text{ м}$	$P_{\text{ис}} = 750 \text{ Н}$

Задание № 11



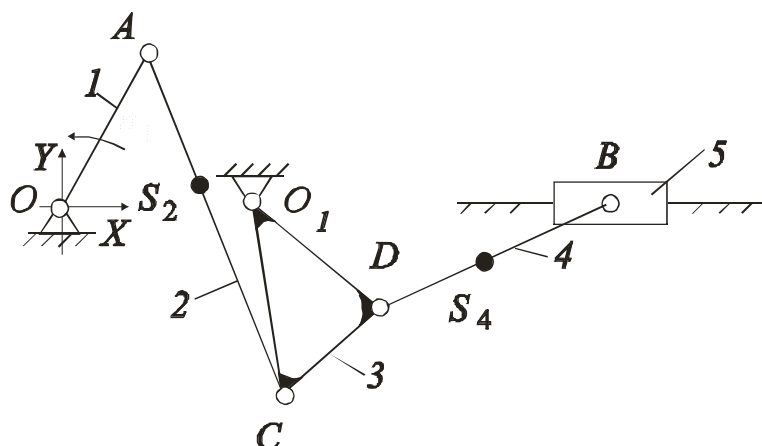
$n_1 = 62 \text{ об/мин}$	$x_{O_1} = 0,025 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,05 \text{ м}$	$y_{O_1} = 0,085 \text{ м}$
$l_{AB} = 0,12 \text{ м}$	$m_4 = 8 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,13 \text{ м}$	$m_5 = 12 \text{ кг}$
$l_{AC} = 0,085 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,01 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,13 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,07 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{BC} = 0,135 \text{ м}$	$P_{\text{ис}} = 800 \text{ Н}$

Задание № 12



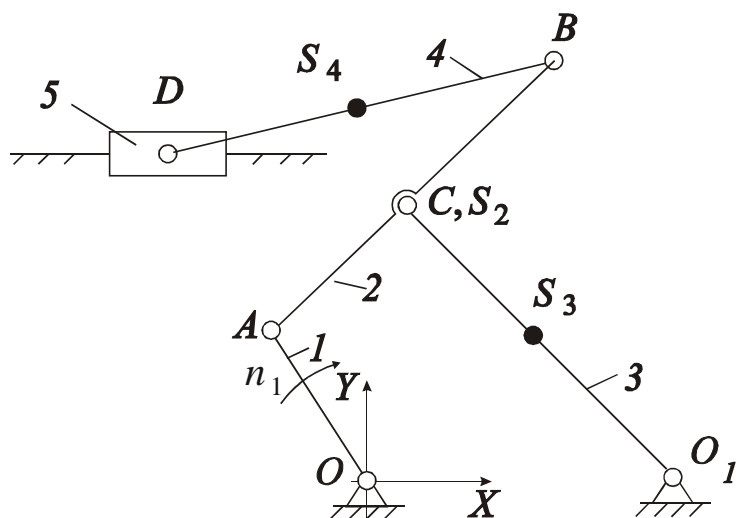
$n_1 = 60 \text{ об/мин}$	$y_{O_2} = -0,13 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,03 \text{ м}$	$m_4 = 1,5 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,075 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{O_1B} = 0,055 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{O_2C} = 0,045 \text{ м}$	$M_c = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}$
$y_{O_1} = -0,09 \text{ м}$	$\angle BO_1C = 90^\circ$

Задание № 13



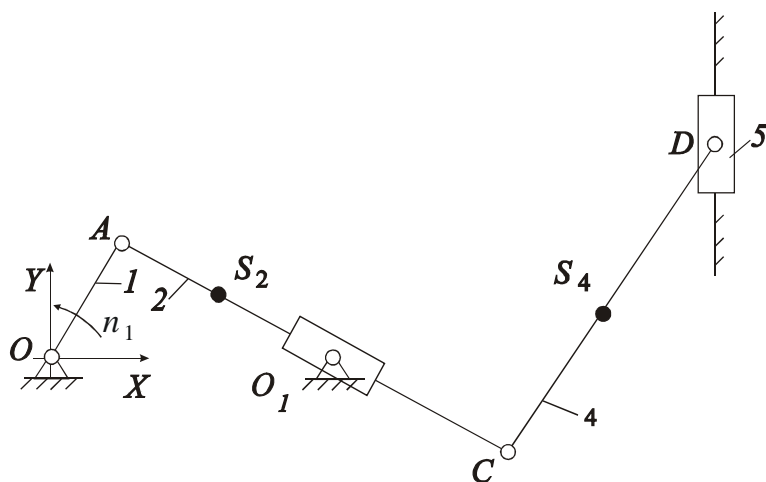
$n_1 = 30 \text{ об/мин}$	$m_2 = 4 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,06 \text{ м}$	$m_4 = 3 \text{ кг}$
$l_{AC} = 0,12 \text{ м}$	$m_5 = 12 \text{ кг}$
$l_{DB} = 0,15 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{O_1C} = 0,1 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{O_1D} = 0,13 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,05 \text{ м}$	$P_{\text{nc}} = 800 \text{ Н}$
$x_{O_1} = 0,08 \text{ м}$	

Задание № 14



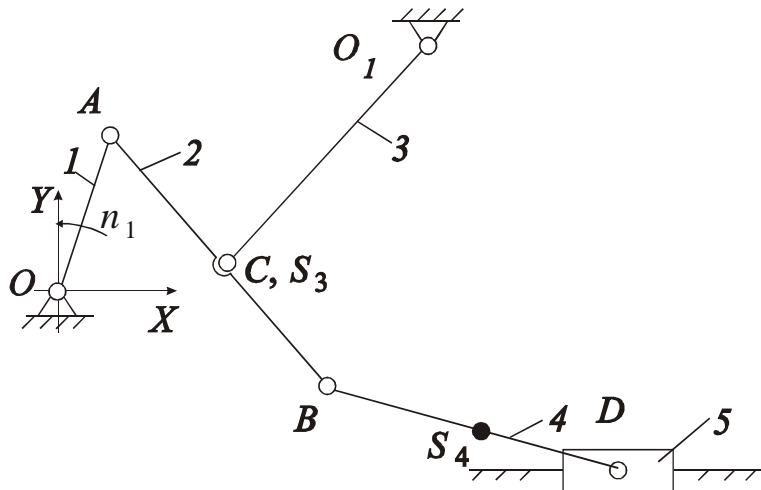
$n_1 = 68 \text{ об/мин}$	$m_2 = 25 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,07 \text{ м}$	$m_3 = 8 \text{ кг}$
$l_{AC} = 0,17 \text{ м}$	$m_4 = 18 \text{ кг}$
$l_{BD} = 0,2 \text{ м}$	$m_5 = 32 \text{ кг}$
$l_{O_1C} = 0,175 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,075 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CB} = 0,18 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = 0,15 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,01 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$y_D = 0,3 \text{ м}$	$P_{\text{nc}} = 1200 \text{ Н}$

Задание № 15



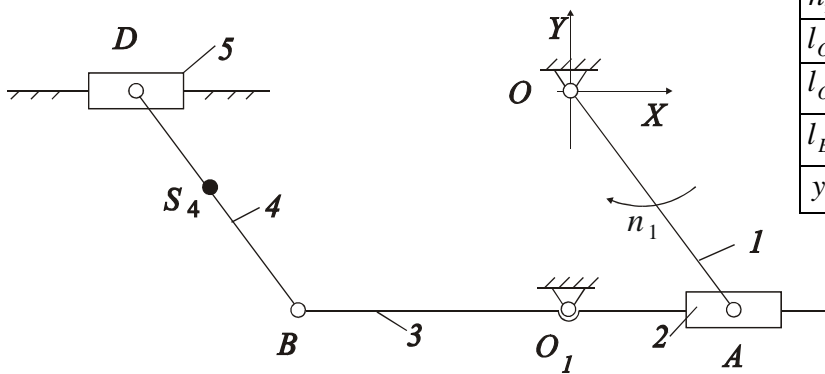
$n_1 = 76 \text{ об/мин}$	$m_2 = 14 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,1 \text{ м}$	$m_4 = 14 \text{ кг}$
$l_{AC} = 0,47 \text{ м}$	$m_5 = 28 \text{ кг}$
$l_{CD} = 0,22 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,07 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = 0,28 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,07 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_D = 0,47 \text{ м}$	$P_{\text{nc}} = 1200 \text{ Н}$

Задание № 16



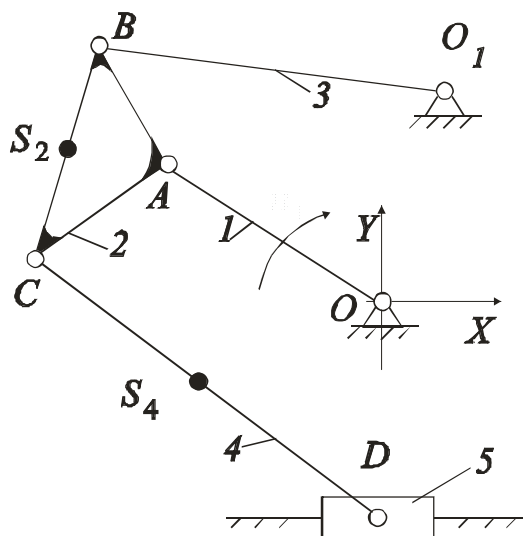
$n_1 = 40 \text{ об/мин}$	$x_{O_1} = 0,21 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,06 \text{ м}$	$m_2 = 8 \text{ кг}$
$l_{AC} = 0,16 \text{ м}$	$m_4 = 9 \text{ кг}$
$l_{O_1C} = 0,15 \text{ м}$	$m_5 = 18 \text{ кг}$
$l_{CB} = 0,06 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{BD} = 0,18 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$y_D = 0,065i$	$I_{S_4} = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$y_{O_1} = 0,12 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 1000 \text{ Н}$

Задание № 17



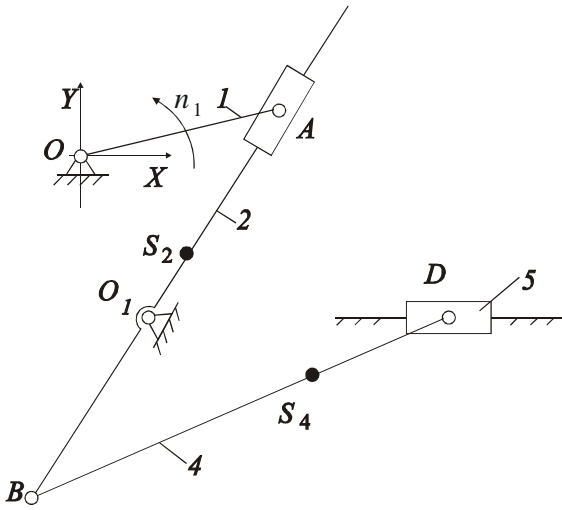
$n_1 = 62 \text{ об/мин}$	$m_4 = 24 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,25 \text{ м}$	$m_5 = 30 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,2 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{BD} = 0,6 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$y_{O_1} = -0,12 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 1200 \text{ Н}$

Задание № 18



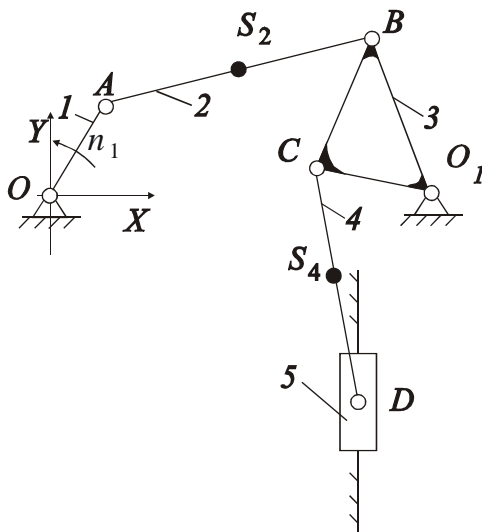
$n_1 = 90 \text{ об/мин}$	$x_{O_1} = 0,15 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,05 \text{ м}$	$m_2 = 8 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,1 \text{ м}$	$m_4 = 10 \text{ кг}$
$l_{AC} = 0,2 \text{ м}$	$m_5 = 12 \text{ кг}$
$l_{CB} = 0,3 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{O_1B} = 0,12 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,2 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,06 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$y_D = -0,06 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 800 \text{ Н}$
$y_{O_1} = 0,02 \text{ м}$	

Задание № 19



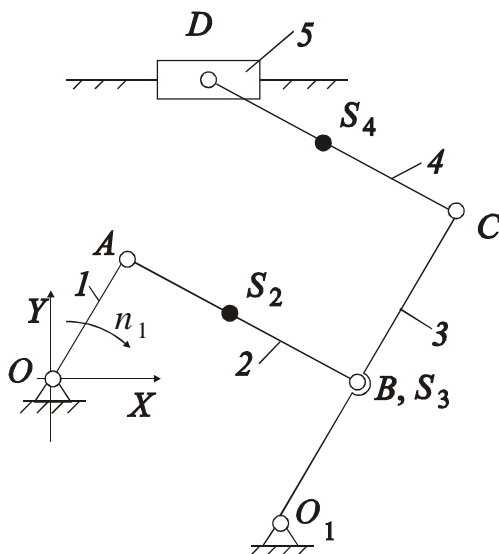
$n_1 = 60 \text{ об/мин}$	$m_4 = 12 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,08 \text{ м}$	$m_5 = 18 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,07 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{BD} = 0,2 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,16 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$y_D = y_{O_1} = -0,125 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 750 \text{ Н}$
$m_2 = 10 \text{ кг}$	

Задание № 20



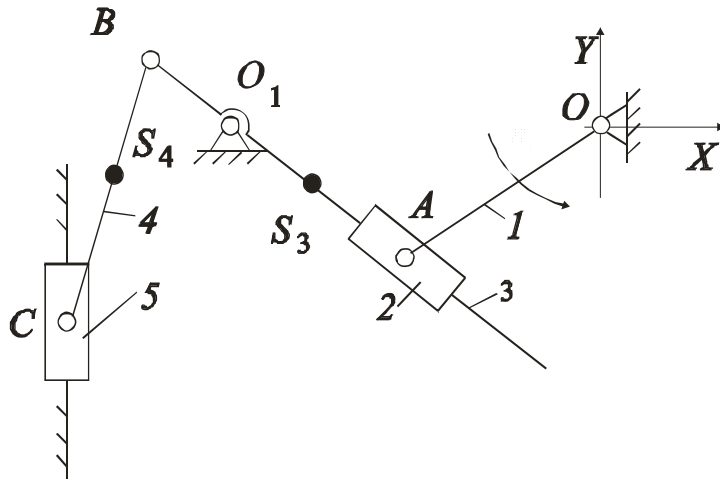
$n_1 = 70 \text{ об/мин}$	$x_D = 0,125 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,06 \text{ м}$	$m_2 = 8 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,18 \text{ м}$	$m_4 = 10 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,12 \text{ м}$	$m_5 = 22 \text{ кг}$
$l_{O_1C} = 0,12 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,032 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CB} = 0,14 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,25 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 1200 \text{ Н}$
$x_{O_1} = 0,225 \text{ м}$	

Задание № 21



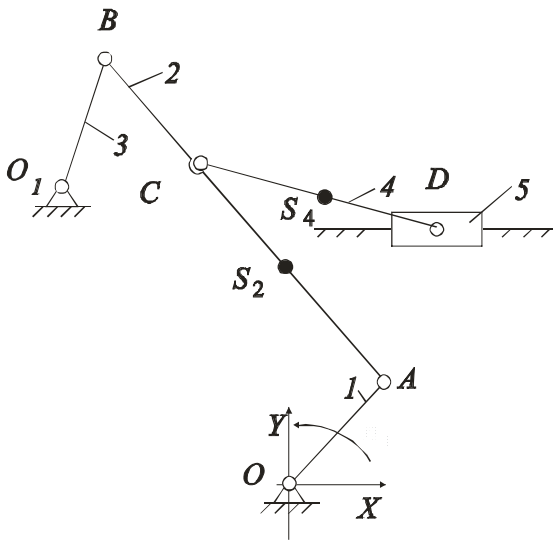
$n_1 = 46 \text{ об/мин}$	$m_2 = 8 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,08 \text{ м}$	$m_3 = 12 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,24 \text{ м}$	$m_4 = 10 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,22 \text{ м}$	$m_5 = 45 \text{ кг}$
$l_{BC} = 0,06 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,105 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,18 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$y_{O_1} = -0,13 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,03 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = 0,25 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 1500 \text{ Н}$
$y_D = 0,16 \text{ м}$	

Задание № 22



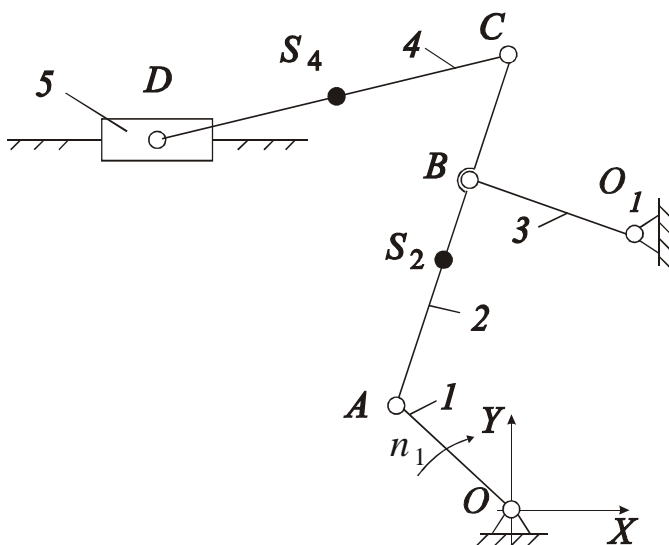
$n_1 = 48 \text{ об/мин}$	$m_3 = 5 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,07 \text{ м}$	$m_4 = 4 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,1 \text{ м}$	$m_5 = 8 \text{ кг}$
$l_{BC} = 0,06 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = -0,15 \text{ м}$	$P_{\text{ис}} = 300 \text{ Н}$
$x_C = -0,26 \text{ м}$	

Задание № 23



$n_1 = 86 \text{ об/мин}$	$y_D = 0,45 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,1 \text{ м}$	$m_2 = 18 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,6 \text{ м}$	$m_4 = 10 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,25 \text{ м}$	$m_5 = 60 \text{ кг}$
$l_{CD} = 0,35 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{AC} = 0,45 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = -0,2 \text{ м}$	$P_{\text{ис}} = 1500 \text{ Н}$
$y_{O_1} = 0,55 \text{ м}$	

Задание № 24



$n_1 = 70 \text{ об/мин}$	$y_D = 0,46 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,09 \text{ м}$	$m_2 = 18 \text{ кг}$
$l_{BC} = 0,12 \text{ м}$	$m_4 = 9 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,25 \text{ м}$	$m_5 = 32 \text{ кг}$
$l_{CD} = 0,21 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,45 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{AC} = 0,45 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = 0,22 \text{ м}$	$P_{\text{ис}} = 2000 \text{ Н}$
$y_{O_1} = 0,35 \text{ м}$	

Содержание

Вступление.....	3
1. Общие методические указания.....	3
2. Выполнение расчетно-графического задания.....	5
2.1. Задача 1. Структурный и кинематический анализ рычажного механизма	5
2.2. Задача 2. Силовой расчет механизма без учета сил трения	8
2.3. Задача 3. Динамическое исследование механизма.....	9
3. Пример решения и оформления задачи расчетно-графического задания.....	11
Задача 1. Структурный и кинематический анализ	12
Задача 2. Силовой расчет механизма без учета сил трения	14
Задача 3. Динамическое исследование рычажного механизма для заданного положения.....	17
Приложение А. Образец графической части.....	19
Приложение Б. Задания.....	20

Навчальне видання

Теорія механізмів і машин

Методичні вказівки до виконання та оформлення
розрахунково-графічних завдань по курсу теорії механізмів і машин
для студентів машинобудівних спеціальностей
Тема: Аналіз плоских важільних механізмів

Російською мовою

Укладачі: КРОТЕНКО Галина Анатоліївна
ЗІНЧЕНКО Олена Іванівна

Відповідальний за випуск М. А. Ткачук
Роботу рекомендував до видання В. Г. Дьяченко

В авторській редакції

План 2013 р., п. 172

Підп. до друку

Формат 60x84/16.

Папір друк. №2.

Друк – ризографія.

Гарнітура Times.

Ум. друк. арк.

Тираж 150 прим. Зам. №

Ціна договірна

Видавничий центр НТУ „ХПІ”, 61002 Харків, вул. Фрунзе, 21
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №3657 від 24.12.2009 р.

Друкарня НТУ „ХПІ”, 61002 Харків, вул. Фрунзе, 21.